

19



OFICINA ESPAÑOLA DE
PATENTES Y MARCAS

ESPAÑA



11 Número de publicación: **2 623 473**

51 Int. Cl.:

E21B 43/28 (2006.01)

12

TRADUCCIÓN DE PATENTE EUROPEA

T3

86 Fecha de presentación y número de la solicitud internacional: **13.05.2009 PCT/US2009/002963**

87 Fecha y número de publicación internacional: **23.12.2009 WO09154676**

96 Fecha de presentación y número de la solicitud europea: **13.05.2009 E 09766990 (7)**

97 Fecha y número de publicación de la concesión europea: **15.03.2017 EP 2313609**

54 Título: **Método y sistema para minería por disolución**

30 Prioridad:

17.06.2008 US 132294
13.12.2008 US 316398

45 Fecha de publicación y mención en BOPI de la traducción de la patente:
11.07.2017

73 Titular/es:

PINNACLE POTASH INTERNATIONAL, LTD
(100.0%)
111 Congress Ave Suite 2020
Austin, TX 78701

72 Inventor/es:

BISHOP, WILLIAM, M.

74 Agente/Representante:

TEMIÑO CENICEROS, Ignacio

ES 2 623 473 T3

Aviso: En el plazo de nueve meses a contar desde la fecha de publicación en el Boletín Europeo de Patentes, de la mención de concesión de la patente europea, cualquier persona podrá oponerse ante la Oficina Europea de Patentes a la patente concedida. La oposición deberá formularse por escrito y estar motivada; sólo se considerará como formulada una vez que se haya realizado el pago de la tasa de oposición (art. 99.1 del Convenio sobre Concesión de Patentes Europeas).

DESCRIPCIÓN

Método y sistema para minería por disolución

Antecedentes de la invención

5 La presente invención se refiere a la industria minera y más particularmente a la minería por disolución de minerales solubles. Se reivindica prioridad a la Solicitud de Patente Provisional de EE.UU. con el N° de Serie 61/132.294 presentada el 17 de Junio de 2008 y a la Solicitud de Patente de Estados Unidos N° de Serie 12/316.398 presentada el 13 de diciembre de 2008.

10 Muchos minerales valiosos se obtienen mediante la minería por disolución de minerales del subsuelo incluyendo evaporitas. Típicamente, se forma una cavidad inyectando un disolvente, que típicamente es agua, y saturando la solución resultante con un mineral deseado en la medida posible antes de llevarlo a la superficie como salmuera producida. La solubilidad del mineral deseado en la salmuera producida es una función de la temperatura, y el depósito subterráneo del mineral deseado que está a menudo a una temperatura mayor que la temperatura ambiente de la superficie de modo que una concentración relativamente alta del mineral deseado está en la salmuera producida. En la superficie, la salmuera producida es usualmente transportada por tubería a una planta de procesamiento, donde es
15 enfriada en intercambiadores de calor refrigerados por debajo de la temperatura ambiente con el fin de precipitar una parte del mineral disuelto esperado debido a la reducción de la temperatura. Alternativamente, la temperatura de la salmuera producida puede reducirse por evaporación del disolvente, que es típicamente agua, para provocar la precipitación de cristales sólidos del mineral deseado. Una suspensión de los cristales del mineral deseado se procesa para recuperar los cristales, y permanece una salmuera empobrecida después de que se retiran los cristales. En la
20 minería por disolución selectiva, la salmuera empobrecida puede ser devuelta a la cavidad de la fuente. En la extracción no selectiva, la salmuera empobrecida se elimina como un producto de desecho. El enfriamiento por refrigeración y evaporación es intensivo en energía y costoso.

25 La patente US N° 3.348.883, concedida a Jacoby et al., enseña el uso de dos pozos separados perforados en un depósito de minerales con temperatura relativamente alta, donde uno de los pozos se utiliza para inyección y el otro para producción. Se produce una salmuera caliente en la superficie, donde se enfría en un intercambiador de calor por evaporación para recuperar los minerales deseados. Este no es un proceso óptimo porque la evaporación puede provocar la precipitación de minerales no deseados, como la halita, y la energía térmica en la salmuera producida se desperdicia. Con refrigeración por evaporación, quedará muy poco de la producción original de salmuera, y lo que queda estará altamente contaminado y no es adecuado para inyectar en el depósito de mineral. En caso de evaporación
30 parcial o completa, hay que sustituir una cantidad significativa de agua.

35 La patente US N° 3.386.768, concedida a Jacoby et al., circula agua caliente o aceite a través de los anillos en un pozo de producción para mantener la temperatura de una producción de salmuera en un intento por evitar el salado, que bloquea el paso del fluido en el pozo debido a la deposición de sal en el paso del fluido. Se calienta agua o aceite en un intercambiador de calor en la superficie y se hace pasar hacia abajo a través de un espacio anular en un pozo de producción adyacente a un tubo a través del cual la salmuera producida fluye hacia arriba y al llegar al fondo del pozo de producción, retorna al intercambiador de calor a través de otro espacio anular.

40 Otra patente, Pat. N° 5.669.734, concedida a Becnel, Jr. et al., describió un proceso para hacer una cavidad de almacenamiento subterránea de gas natural en un depósito de sal en capas o en forma de domo. La patente '734 abordó el problema de acelerar la formación de cavidades subterráneas en climas fríos mediante el precalentamiento del agua de inyección dulce mediante la recuperación de calor en una producción de salmuera. La halita, que es la sal de cloruro de sodio, se extrajo con agua de inyección dulce y caliente para aumentar la velocidad a la que se creó la cavidad de almacenamiento y se calentó agua dulce, fría al ambiente utilizando un intercambiador de calor entre el agua dulce fría al ambiente y la caliente, produjo la salmuera para proporcionar el agua caliente, dulce para inyección. El propósito del procedimiento descrito en la patente '734 era hacer una cavidad de almacenamiento, de modo que no se
45 discutió la recuperación de halita de la salmuera producida, pero no habría sido posible obtener halita simplemente bajando la temperatura de la salmuera porque la solubilidad de la halita es sólo una función muy débil de la temperatura. El calentamiento del agua de inyección dulce aumentó la velocidad de disolución de la halita en el depósito, pero no alteró sustancialmente la concentración de halita en la salmuera producida.

50 La Patente de Estados Unidos N° 3.058.729, concedida a Dahms et al., describe un método para la mineralización de soluciones de potasa, cloruro de potasio, en el que una solución de agua se inyectó en un depósito de potasa y se dejó durante meses para disolver el cloruro de potasio. La salmuera rica en cloruro de potasio fue producida y transportada a un estanque de enfriamiento poco profundo, donde la temperatura ambiente era relativamente fría. Se depositaron cristales de cloruro de potasio en el estanque y se retiró un licor madre del estanque. Se purgó una pequeña porción del licor madre y se añadió agua a una gran parte del licor madre para formar la solución de agua que alimentó al depósito
55 de potasa. Este método requiere de un clima frío o medios suplementarios para enfriar la salmuera producida.

La minería por disolución de potasa, cloruro de potasio, se describe adicionalmente en la Patente de Estados Unidos N° 3.918.916, concedida a Garrett. En la patente '916, como se describe con referencia a la Fig. 6, se produjo salmuera a

partir de un depósito de potasa y se enfrió inicialmente en un cristizador del tipo de crecimiento al vacío en etapas múltiples, se enfrió adicionalmente en un cristizador de intercambio de calor que incluía intercambiadores de calor de carcasa y tubo y luego se enfrió adicionalmente en una estación de cristalización atmosférica en la cual la salmuera fluye de abajo a arriba sobre una serie de deflectores mientras que el aire frío, atmosférico es aspirado hacia arriba y se expulsa por un ventilador y luego opcionalmente, dependiendo de la temperatura ambiente, es enfriado adicionalmente con un cristizador refrigerante. La salmuera producida se convirtió en una suspensión que contenía cristales de cloruro de potasio a medida que se enfriaba. Los cristales de cloruro de potasio se separaron y recuperaron usando un equipo de separación física, tal como una centrífuga, dejando una solución de salmuera que contenía una concentración más baja de cloruro de potasio denominada salmuera empobrecida. Una parte de la salmuera empobrecida se recirculó a los intercambiadores de calor de carcasa y tubo en el cristizador de intercambio de calor para enfriar la salmuera producida, que calentó la salmuera empobrecida. Se añadió agua dulce a la salmuera empobrecida calentada para formar una solución que se inyectó en el depósito de potasa para disolver el cloruro de potasio y producir la salmuera. El método descrito en la patente '916 requiere equipos que son relativamente caros, complejos y difíciles de mantener y que requieren una gran cantidad de energía para funcionar. El documento US-A1-2.161.800 de la técnica anterior más reciente describe un procedimiento para la minería por disolución usando refrigeración por evaporación.

Resumen de la invención

La presente invención proporciona en una realización un procedimiento para la minería por disolución, en el que se proporciona un conducto de inyección en un depósito de mineral que tiene un mineral deseado. El conducto de inyección está adaptado para transportar un fluido de inyección al depósito de mineral para disolver el mineral deseado y formar una salmuera de producción. Un conducto de producción se proporciona en el depósito de mineral y está adaptado para transportar la salmuera producida a la superficie de la tierra. Se inyecta fluido de inyección en el conducto de inyección, lo que obliga a que la salmuera producida fluya a través del conducto de producción. La salmuera producida se enfría a medida que es transportada a través de un conducto de transporte y uno o más intercambiadores de calor a una planta de separación. Enfriar la salmuera producida hace que el mineral deseado se precipite formando de este modo una suspensión que contiene los cristales minerales sólidos deseados en una solución de salmuera. Los cristales minerales sólidos deseados se separan de la solución de salmuera en la planta de separación, formando de este modo una corriente de salmuera empobrecida en líquido y recuperando el producto de cristal mineral sólido. La salmuera empobrecida se transporta a través del uno o más intercambiadores de calor al conducto de inyección y se inyecta como un todo o parte del fluido de inyección. Se intercambia calor entre la salmuera producida y la salmuera empobrecida en uno o más intercambiadores de calor para enfriar la salmuera producida y para calentar la salmuera empobrecida. La cristalización del producto de cristal mineral sólido se debe a una reducción en la temperatura de la salmuera producida que se produce entre el depósito de mineral y la planta de separación debido a una pérdida de calor de la salmuera producida. La pérdida de calor de la salmuera producida se debe esencialmente a una transferencia de calor de la salmuera producida a la salmuera empobrecida en el intercambiador de calor y a la pérdida de calor de la salmuera producida en el medio ambiente mientras se transporta desde el depósito de mineral en uno o más intercambiadores de calor, y el conducto de transporte a la planta de separación.

Preferiblemente, en el procedimiento no se utilizan intercambiadores de calor energizados y, preferiblemente, la única energía del procedimiento consumida es la energía requerida para bombear el fluido a través del sistema de minería. La salmuera empobrecida se calienta preferiblemente de nuevo hasta casi la temperatura del depósito de mineral, preferiblemente sin el uso de calentamiento externo, lo que aumenta la velocidad de lixiviación y el nivel de saturación.

Aunque las palabras concentrado y diluido se usan para identificar ciertas corrientes fluidas, en esta invención la salmuera permanece esencialmente saturada después de disolver el mineral, pero la cantidad de mineral disuelto en la corriente fluida varía con la temperatura. Una salmuera saturada que tiene cierta temperatura a la salida de un pozo de producción se denomina salmuera concentrada. Al enfriar, se formarán cristales en la salmuera concentrada, formando una suspensión de líquido con partículas sólidas en el líquido. Las partículas sólidas pueden separarse de la suspensión con diversos tipos de equipo de separación. Después de que las partículas sólidas se eliminan de la suspensión, queda una salmuera saturada que tiene una temperatura más baja que la salmuera concentrada, a la que se hace referencia como una corriente de salmuera diluida o empobrecida.

En una realización preferida, se utiliza un intercambiador de calor de tubo en tubo para intercambiar calor entre la salmuera de producción concentrada y la corriente de salmuera diluida, y preferiblemente el intercambiador de calor de tubo en tubo también sirve como medio apropiado para transportar la salmuera concentrada de producción al equipo de extracción de minerales y para transportar la corriente de salmuera diluida al conducto de inyección. Preferiblemente, la salmuera de producción concentrada se siembra para promover la cristalización del mineral, preferiblemente con partículas minerales recuperadas de la salmuera de producción concentrada.

La presente invención proporciona en otra realización un sistema adaptado para la extracción de un mineral de una fuente subterránea de mineral, donde un tubo de inyección se extiende desde la superficie de la tierra hacia la fuente subterránea del mineral y un tubo de producción se extiende hacia la fuente subterránea del mineral para transportar una salmuera de producción caliente y concentrada que contiene el mineral desde la fuente subterránea hasta la superficie de la tierra. El equipo para obtener el mineral de la salmuera de producción concentrada proporciona una salmuera diluida relativamente fría obtenida después de que el mineral se elimina de la salmuera de producción

concentrada. Se proporciona un intercambiador de calor para intercambiar calor entre la salmuera diluida relativamente fría y la salmuera de producción concentrada relativamente caliente, y la salmuera diluida y fría se calienta para proporcionar un fluido de inyección que se bombea al tubo de inyección. El sistema comprende además una tubería y una bomba para transportar la salmuera diluida hasta y a través del intercambiador de calor y hacia y dentro del tubo de inyección, con lo que se consigue el enfriamiento de la salmuera de producción concentrada con la corriente de salmuera diluida en el intercambiador de calor y el conducto necesario para la comunicación fluida entre el tubo de producción, el intercambiador de calor y el equipo para separar los cristales del mineral. El sistema de intercambio de calor proporciona esencialmente todo el enfriamiento para la salmuera producida, salvo para las pérdidas en el ambiente. El intercambiador de calor es preferiblemente un intercambiador de calor de tubo en tubo, pero pueden usarse otros tipos de intercambiadores tales como una carcasa y un tubo. El equipo para obtener el mineral a partir de la salmuera de producción concentrada incluye preferiblemente un separador, que es preferiblemente un separador VariSieve, seguido preferiblemente por una centrífuga. En el caso del procesado de carnalita, el separador es seguido preferiblemente por un fraccionador (un depósito de descomposición) y luego preferiblemente por una centrífuga. El fluido inferior de la centrífuga incluye pequeñas partículas, lodos, que pueden usarse como semillas para promover la cristalización en la salmuera producida cuando se enfría en el intercambiador de calor. En una realización, se utiliza un separador de vórtice para recuperar las partículas de semilla de la salmuera diluida de retorno, que contiene el lodo. La salmuera diluida lleva las partículas de semilla al intercambiador de calor y el separador de vórtice elimina algunas partículas de siembra, las cuales se inyectan a continuación en la salmuera producida cerca del extremo caliente del intercambiador de calor. Se ha descrito un separador de vórtice, pero puede usarse cualquier dispositivo capaz de separar los sedimentos o partículas pequeñas de semilla de la salmuera líquida, diluida y de retorno. En otra realización, se proporciona equipo de separación y dimensionamiento de manera que una porción de mineral recuperado se separa por tamaño de partícula y se inyecta un número esperado de partículas de un tamaño esperado en la salmuera de retorno diluida para recuperación en el separador de vórtice e inyección en la salmuera producida caliente para promover la formación de cristales de un tamaño esperado.

Una realización de la invención proporciona un proceso para extraer un mineral de un sitio que tiene una fuente mineral subterránea, donde el sitio ha sido adaptado con un conducto de inyección en la fuente de mineral para transportar un fluido de inyección a la fuente mineral para disolver el mineral y formar una salmuera de producción concentrada y donde el sitio se ha adaptado adicionalmente con un conducto de producción a la fuente mineral para transportar la salmuera de producción concentrada a la superficie de la tierra. El procedimiento incluye inyectar el fluido de inyección en el conducto de inyección, transportar la salmuera de producción concentrada a un equipo de extracción de minerales, extraer el mineral de la salmuera de producción concentrada formando de este modo una corriente de salmuera diluida y una corriente de mineral, un fluido disolvente de minerales a un intercambiador de calor; y el intercambio de calor entre la salmuera de producción concentrada y el fluido de disolución mineral en el intercambiador de calor. En esta realización, el líquido de disolución mineral enfría la salmuera de producción concentrada formando así partículas minerales cristalizadas en la salmuera de producción concentrada, mientras que el fluido de disolución mineral es calentado por la salmuera de producción concentrada. El fluido de inyección comprende el fluido de disolución mineral después de que se calienta en el intercambiador de calor, y el fluido de disolución mineral es típicamente agua dulce o salina. El sistema (18) de intercambio de calor de dicho procedimiento proporciona esencialmente todo el enfriamiento para la salmuera producida, con excepción de las pérdidas al medio ambiente.

En otro aspecto de la presente invención, se proporciona un método para preparar un sitio para la minería por disolución de una fuente subterránea de mineral, que incluye instalar tubería de inyección y tubería de producción que se extienden entre la superficie de la tierra y la fuente subterránea, el mineral de una salmuera de producción, la instalación de un intercambiador de calor entre la tubería de producción y el equipo adaptado para obtener el mineral; y la instalación de tubería y una bomba adaptada para hacer circular el fluido desde la tubería de producción a través del intercambiador de calor a través del equipo adaptado para obtener el mineral y hacia debajo de la tubería de inyección, en el que el intercambiador de calor está adaptado para intercambiar calor entre el fluido de la tubería de producción y el fluido del equipo adaptado para obtener el mineral, y en el que el intercambiador de calor proporciona esencialmente todo el enfriamiento para la salmuera producida, con excepción de las pérdidas al medio ambiente, precipitando así los cristales del mineral.

Breve descripción de los dibujos

Se puede obtener una mejor comprensión de la invención cuando la descripción detallada de realizaciones ejemplares que se exponen a continuación se considera conjuntamente con los dibujos adjuntos en los que:

La figura 1a es una representación esquemática de un proceso de minería por disolución según la presente invención en el que un conducto de inyección está instalado en un pozo que se extiende dentro de un depósito de mineral y un conducto de producción está instalado en otro pozo que se extiende dentro del depósito de mineral;

La figura 1b es una representación esquemática de un proceso de minería por disolución de acuerdo con la presente invención que usa una terminación doble en la que un conducto de inyección y un conducto de producción están instalados cada uno en un solo pozo que se extiende dentro de un depósito de mineral;

La figura 2 es una representación esquemática simplificada de un proceso de minería por disolución según la presente invención, que ilustra, en particular, un intercambiador de calor para cristalizar un mineral deseado; y

La figura 3 es una representación esquemática simplificada de un proceso de minería por disolución, que ilustra, en particular, el equipo que puede utilizarse en una planta de separación para recuperar producto mineral y para transportar salmuera empobrecida al intercambiador de calor, de acuerdo con la presente invención.

Descripción detallada de las realizaciones de ejemplo

Los minerales de evaporita productivos se obtienen generalmente por medio de la minería convencional, por la minería en solución, o recuperando los minerales de lagos altamente saturados, tales como el mar Muerto. En la mayoría de estos casos es necesario formar y procesar una solución de minerales de tal forma que los minerales deseados precipiten desde la solución. La presente invención se refiere a la minería por disolución, en la que el agua se bombea a un yacimiento de evaporita, típicamente un depósito subterráneo. Se disuelve un mineral deseado en el depósito y una solución que contiene el mineral deseado es transportada a la superficie. En este punto se recupera el mineral deseado de la solución. Una forma de hacerlo es mediante la evaporación, ya sea mediante la utilización de estanques de evaporación en climas secos calientes, o por calentamiento mecánico y evaporación en otros climas. Estos dos métodos se usan típicamente para producir sal de cloruro sódico, que es halita. Otro método consiste en utilizar la refrigeración en una planta de proceso para enfriar la solución casi saturada producida por la minería por disolución, haciendo que los minerales se precipiten. La refrigeración es eficaz para los minerales que tienen una fuerte solubilidad dependiente de la temperatura, como los minerales de potasa (silvita o carnalita, por ejemplo). La presente invención se refiere a estos últimos tipos de minerales, en los que la solubilidad depende de la temperatura.

Los grandes depósitos de sales de halita, como los domos de sal o los grandes estanques de separación, tienden a ser más calientes que otras áreas debido a la mayor conductividad térmica de la sal. Si el depósito es lo suficientemente profundo, la temperatura más alta en el fondo de la formación produce temperaturas más altas en todo el depósito en virtud de la alta conductividad térmica de la sal. Típicamente, estas temperaturas son mayores que el gradiente geotérmico normal de aproximadamente 1° C por 30,5 metros (1,8° F por cien pies). Alternativamente, si una evaporita es simplemente profunda sin un gran cuerpo de sal asociado, el gradiente geotérmico en sí puede elevar significativamente la temperatura de la evaporita sobre la superficie. Mediante el uso de minerales en solución, ambos casos permiten la posibilidad de precipitar cualquier mineral disuelto enfriando la salmuera producida a temperatura ambiente en la superficie. Cuáles minerales y cuánto de cada uno se precipitará dependerá de la caída de temperatura experimentada en la superficie y del diagrama de fases para el sistema de minerales disueltos. Es deseable mantener la temperatura de una salmuera producida lo más alta posible a medida que sube a la superficie de modo que la cadena de producción no se salga y se bloquee debido a la precipitación inducida por enfriamiento en la pared de la tubería. La caída de temperatura en una cadena de producción puede minimizarse aislando la cadena de producción, y los minerales que precipitan en la pared de la tubería se pueden eliminar enjuagando periódicamente la cadena de producción con agua dulce.

Volviendo ahora a los dibujos, la figura 1a muestra un sistema 10 para la minería por disolución de un depósito D de mineral, de acuerdo con la presente invención. Un pozo 12 de inyección se coloca en el depósito D de mineral perforando un pozo B1 desde la superficie hasta el depósito, colocando el conducto 12 de inyección en el pozo y bombeando cemento C1 alrededor del conducto de inyección para sellar el espacio anular entre el conducto 12 de inyección y la pared del pozo B1 de tierra. Una cabeza 12a de pozo de inyección proporciona acceso al pozo 12 de inyección y proporciona un punto de conexión con válvulas y conexiones de tubería apropiadas. Un pozo 14 de producción que tiene una cabeza 14a de pozo de producción se instala de forma similar en un pozo B2 y se sella con cemento C2 para proporcionar un conducto para producir fluido desde el depósito D. El depósito D de mineral puede fracturarse para proporcionar una vía del fluido a través del depósito D de inyección del pozo 12 al pozo 14 de producción, tal como por bombeo de un pozo 12 de inyección fluida hacia abajo a una presión muy alta. Un disolvente, que es típicamente una solución acuosa, es alimentado a través de un tubo 16 a un intercambiador 18 de calor, que calienta el disolvente. El disolvente calentado fluye a través de un tubo 20 al cabezal 12a de pozo de inyección y hacia abajo al pozo 12 de inyección al depósito D de mineral. El disolvente fluye a través del depósito D de mineral, disolviendo uno o más minerales en el depósito y formando una salmuera de producción con una concentración esperada de mineral (es) disuelto (s). La temperatura del depósito D y de la salmuera producida es mayor que la temperatura ambiente de la superficie. La solubilidad de los minerales deseados depende de la temperatura, donde la saturación en la salmuera producida está en una concentración más alta a una temperatura alta en comparación con una temperatura baja. Así, una cantidad mayor del mineral deseado puede disolverse en un volumen dado del disolvente a una temperatura más alta que a una temperatura más baja. La salmuera producida fluye hacia arriba a través del pozo 14 de producción a la cabeza 14a de pozo de producción y a través de un tubo 22 al intercambiador 18 de calor. La salmuera producida se enfría a medida que fluye a través del intercambiador 18 de calor, haciendo que se formen cristales sólidos de los minerales deseados debido a una menor solubilidad a la temperatura más baja. Una suspensión de los cristales sólidos del mineral o minerales deseados en la salmuera producida que fluye a través de una tubería 24 y los cristales se separan y se recuperan como se explica a continuación.

En la Fig. 1b, se perfora un solo pozo B3 a través de la tierra en el depósito D de mineral. Un conducto I de inyección y un conducto P de producción están sellados en el orificio B3 de pozo con un cemento C3. Una cabeza H de pozo

proporciona válvulas y puntos de conexión para el conducto I de inyección y el conducto P de producción. Puesto que el conducto I de inyección y el conducto P de producción están en estrecha proximidad, puede no ser necesario fraccionar el depósito D. Una solución de agua se alimenta a través de una línea 28 a un intercambiador E de calor, donde la solución se calienta, y luego a través de una línea 30 al conducto I de inyección. Un mineral deseado en el depósito D se disuelve mediante la solución acuosa para producir una solución de salmuera caliente rica del mineral deseado, se produce a través del conducto P de producción. La salmuera producida fluye a través de una línea 32 y se enfría en el intercambiador E de calor, precipitando cristales del mineral deseado y formando una suspensión que fluye a través de una línea 34 a un equipo de separación física (no mostrado).

La Fig. 2 proporciona un dibujo simplificado de un proceso 40 de minería por disolución, de acuerdo con la presente invención. En la Fig. 2, se perfora un solo pozo B4 a través de la tierra en un depósito M de mineral. Un revestimiento o tubo 42 exterior se sella en el pozo B4 con un cemento C4. Un tubo 44 interior se coloca dentro del tubo 42 externo, formando una cadena de pozos concéntricos. Un espacio 42a anular está definido por la superficie exterior del tubo 44 interior y la superficie interior del tubo 42 exterior. El espacio 42a anular sirve como un conducto de inyección, mientras que el tubo 44 interior sirve como un conducto de producción. Una disolución acuosa o disolvente se alimenta a través del espacio 42a anular hasta el depósito M de mineral. Se disuelve un mineral o minerales deseados y se forma una salmuera que tiene una concentración relativamente alta del mineral o minerales deseados. La salmuera, que es relativamente caliente debido a la temperatura relativamente caliente del depósito M de mineral, se produce a través del tubo 44 interior y se transporta a una cabeza 46 de pozo. La cadena de pozos concéntricos sirve como un intercambiador de calor de tubo en tubo, que da ventajas -la salmuera producida tiende a retener su temperatura relativamente caliente, lo que minimiza la salificación en el tubo de producción, y el fluido de inyección puede ser suministrado al depósito aproximadamente con la misma temperatura que en el depósito, lo cual ayuda a prevenir el enfriamiento en el depósito y permite que la disolución tenga lugar a una temperatura tan alta como sea naturalmente posible-. Aunque normalmente la producción será a través del tubo 44 interior, puede usarse tanto el tubo 44 interior como el espacio 42a anular para producir la salmuera, y la dirección del fluido puede invertirse, particularmente para eliminar la sal del conducto de producción. Cualquiera de las configuraciones de pozos mostradas en las Figs. 1a, 1b y 2, se pueden utilizar y cualquier número de pozos para extraer un depósito de mineral.

Haciendo referencia a la Fig. 2, durante el arranque, el agua W es transportada a través de un tubo 48 a un intercambiador 50 de calor tubo en tubo en el que el agua fluye a través de un espacio 50a anular dentro del intercambiador 50 de calor a un tubo 52 que pasa a la cabeza 46 del pozo y proporciona una conexión fluida con el espacio 42a anular en la cadena de pozos concéntricos. Por lo tanto, el agua dulce es transportada a través del espacio anular del conducto 42a de inyección hasta el depósito M de mineral para disolver los minerales deseados. A medida que el agua se equilibra a la temperatura en el depósito M de mineral, disuelve los minerales deseados y forma una salmuera de producción que tiene una concentración relativamente alta del mineral o minerales deseados, cuya solubilidad depende de la temperatura. La salmuera rica en minerales así formada se produce a través del tubo 44 interior y fluye a través de la cabeza 46 de pozo a través de una tubería 54 a una entrada 50b de un tubo 50c interior dentro del intercambiador 50 de calor. El tubo 50c interior atraviesa la longitud del intercambiador 50 de calor a una salida 50d a la que está conectada una tubería 56. La salmuera rica en minerales producida se enfría a medida que el calor en la salmuera producida se transfiere al agua que fluye a través del espacio 50a anular. Dado que la solubilidad de los minerales deseados depende de la temperatura de la solución en la que se encuentra, el mineral o minerales deseados se precipitan como cristales sólidos dentro del tubo 50c interior a medida que la temperatura de la salmuera producida disminuye, formando una suspensión de los cristales en la solución de salmuera. La suspensión fluye a través de la línea 56 a una planta 58 de separación. El equipo de separación o extracción de minerales dentro de la planta 58 de separación retira los cristales sólidos del mineral o minerales deseados de la suspensión y deja una solución de salmuera a partir de la cual se han retirado los cristales, denominada salmuera diluida o empobrecida. Los cristales sólidos del mineral o minerales deseados se recuperan como un producto 60. La salmuera empobrecida está a una temperatura sustancialmente más baja que la salmuera rica producida en caliente en la línea 54 y tiene una concentración sustancialmente menor del mineral o minerales deseados disueltos en ella. La salmuera empobrecida está a aproximadamente a la temperatura ambiente.

Después de que los minerales precipitados se retiran de la salmuera producida y se recupera como producto 60, la salmuera diluida o empobrecida se recircula al pozo, fluyendo a través de un tubo 62 a una bomba 64 de alta presión. La bomba 64 bombea la salmuera empobrecida a través de un el tubo 66 al espacio 50a anular dentro del intercambiador 50 de calor para recircular la salmuera empobrecida para la minería por disolución adicional del mineral del depósito M de mineral. La bomba 64 refuerza la presión de la salmuera diluida (retorno) de modo que sea suficiente para llevar esta salmuera a y a través del intercambiador 50 de calor, en la cavidad en el depósito M, y luego de vuelta a través del tubo 44 de producción, el intercambiador 50 de calor y de vuelta a la planta 58 de separación.

En la planta 58 de separación, se inyectan partículas minerales, preferiblemente clasificadas por tamaño, en la salmuera empobrecida para su uso en la siembra de la salmuera producida en la línea 54, aunque esta etapa no se muestra en la Fig. 2. La planta 58 de separación debe tener un equipo adecuado para separar los cristales del mineral deseado de la suspensión, separando preferiblemente los cristales según el tamaño, e inyectando una porción de los cristales en la salmuera empobrecida para su uso en la siembra de la salmuera producida. Los cristales sirven como puntos de nucleación para la formación de cristales a medida que la temperatura de la salmuera baja. A continuación se proporciona más información sobre la siembra. La salmuera empobrecida en la tubería 66, que contiene semillas,

5 cristales minerales, fluye a través de un separador 68 de vórtice, que elimina la mayor parte de la semilla. Los cristales minerales en una corriente de purga fluyen a través de un tubo 70 para inyección en la salmuera producida en la tubería 54 aguas arriba de la entrada 50b del intercambiador de calor. Se ilustra un separador de vórtice, pero puede usarse cualquier equipo adecuado para retirar los cristales de siembra. Alternativamente, se puede transportar una solución de siembra desde la planta 58 de separación a la entrada 50b caliente del intercambiador 50 de calor. Después de separar los cristales de siembra de la salmuera de retorno empobrecida en el separador 68 de vórtice, la salmuera de retorno empobrecida fluye a través de una tubería 72 a una entrada 50e en el espacio 50a anular en un extremo frío del intercambiador 50 de calor cerca de la salida 50d de salmuera producida. La entrada 50e proporciona una abertura a través de un tubo 50f exterior que define la superficie externa del intercambiador 50 de calor. El espacio 50a anular está definido por una superficie interior del tubo 50f exterior y una superficie exterior del tubo 50c interior.

10 La salmuera empobrecida que sale del separador 68 de vórtice hacia el tubo 72 está generalmente en o cerca de la temperatura ambiente, que es generalmente relativamente fría en comparación con la temperatura de formación dentro del depósito M de mineral y la temperatura de la salmuera producida en la tubería 54. El intercambiador 50 de calor es preferiblemente un intercambiador de calor de tubo en tubo muy largo o una serie de intercambiadores de calor de tubo en tubo más cortos dispuestos en serie. Alternativamente, el intercambiador 50 de calor puede ser un número de intercambiadores de calor de carcasa y tubo dispuestos en paralelo, o cualquier medio adecuado para el intercambio de calor de acuerdo con la presente invención también puede usarse.

15 Como se muestra en la Fig. 2, la salmuera empobrecida relativamente fría fluye en el espacio 50a anular del intercambiador 50 de calor a través de la entrada 50e. La salmuera empobrecida se mezcla con el agua W de la fuente en el espacio 50a anular, formando un fluido de inyección, y después del arranque, la cantidad de agua W puede reducirse según se necesite. El fluido de inyección fluye a través del espacio 50a anular en contracorriente al fluido de la salmuera producida dentro del tubo 50c interior. La energía térmica en la salmuera producida rica y caliente fluye a través de la pared del tubo 50c interior hacia el fluido de inyección en el espacio 50a anular, que enfría la salmuera producida y calienta el fluido de inyección que comprende la salmuera empobrecida del tubo 72 y el agua de reposición de la línea 48. Cierta energía térmica también se perderá probablemente al medio ambiente a través de la pared del tubo 50f exterior. De hecho, puede ser deseable enterrar el intercambiador 50 de calor por debajo de la superficie del suelo, en cuyo caso la superficie de la tierra proporciona un disipador de calor a una temperatura relativamente constante.

20 A medida que se enfría la salmuera producida, se reduce la cantidad de minerales deseados que se pueden disolver en la salmuera producida. Los cristales de los minerales deseados se forman, especialmente alrededor de los puntos de nucleación proporcionados por las semillas introducidas a la salmuera producida a través de la línea 70 del separador 68 de vórtice, a medida que la temperatura de la salmuera producida disminuye debido a la transferencia de energía térmica de la salmuera producida a la salmuera empobrecida y el fluido de inyección de agua de relleno en el espacio 50a anular y en el intercambiador de calor 50. Se forma una suspensión a medida que la salmuera producida fluye desde la entrada 50b de extremo caliente hasta la salida 50d final de enfriamiento que es transportada a través de la tubería 56 a la planta 58 de separación. Los cristales sólidos del mineral o minerales deseados se separan y recuperan como producto 60, y una salmuera empobrecida se recircula por la bomba 64 al intercambiador 50 de calor. Se añaden semillas minerales a la salmuera empobrecida mientras que en la planta 58 de separación, y la semilla es transportada al separador 68 de vórtice en la salmuera empobrecida por la bomba 64 y las líneas 62 y 66. La semilla mineral se recupera con el separador de vórtice y se transporta a través de la tubería 70 y se inyecta en la salmuera producida en la tubería 54. La salmuera empobrecida, después de que la semilla se retira en el separador 68 de vórtice, fluye hacia el intercambiador 50 de calor a través del tubo 72. Una cantidad esperada de agua de relleno dulce procedente de la fuente W a través de la tubería 48 para formar el fluido de inyección, que es calentado por la salmuera producida en el intercambiador 50 de calor. El fluido de inyección es transportado a la cabeza 46 del pozo a través de la tubería 52 e inyectado en el depósito M de mineral a través del espacio 42a anular en la cadena concéntrica de pozos. El fluido de inyección que sale del intercambiador de calor en la tubería 52 es razonablemente caliente ya que es calentado por la salmuera producida desde una temperatura cercana al medio ambiente. El fluido de inyección fluye a contracorriente en el espacio 42a anular de la cadena de pozos a la salmuera producida que fluye hacia arriba en el tubo 44 interior de la cadena del pozo, proporcionando una capa aislante que ayuda a evitar una pérdida sustancial de calor de la salmuera producida mientras se calienta el fluido de inyección hasta casi la temperatura del depósito M de mineral. El fluido de inyección que entra en la cavidad en el depósito M de mineral es así razonablemente caliente, lo que mejora la velocidad de la disolución para disolver los minerales deseados en el depósito M e incrementa la cantidad del mineral deseado que puede disolverse en una cantidad dada del fluido de inyección ya que la solubilidad del mineral o minerales deseados depende de la temperatura del fluido de inyección. Después de un período de tiempo suficiente para disolver los minerales deseados, se forma la salmuera producida rica, más concentrada, que está esencialmente a la temperatura del depósito de mineral, siempre que el período de tiempo sea lo suficientemente largo para permitir el equilibrio de la temperatura. La salmuera producida es transportada al intercambiador 50 de calor a través del tubo 44 interno de cadena de pozo y la tubería 54 para continuar el ciclo.

50 A medida que la cavidad se agranda en el depósito M, se añade agua de relleno dulce o salina para llenar el hueco que queda en el depósito M a medida que se retira el mineral. La fuente W del agua de relleno es a menudo un pozo de agua, un estanque, un lago o una fuente de agua salada, pero el agua también puede ser transportada y almacenada en un tanque. El agua se añade preferentemente al intercambiador 50 de calor como se muestra en la Fig. 2 o en el tubo

72, pero el agua de relleno puede ser inyectada en la línea 62 de retorno de salmuera diluida en la planta 58 de separación. Sin embargo, en este caso la salmuera empobrecida no puede llevar cristales de siembra porque los cristales minerales se disolverán en la salmuera diluida. Para llevar a cabo la siembra, puede situarse un depósito de semillas cerca de la entrada 50b de extremo caliente del intercambiador 50 de calor con una bomba para inyectar las semillas en la salmuera producida. Un tanque de semillas puede alimentar múltiples pozos de producción.

Volviendo a la Fig. 3, se muestra un diagrama simplificado del fluido del procedimiento 70 para producir y procesar una suspensión de carnalita, de acuerdo con la presente invención. La suspensión de carnalita se produce de acuerdo con el procedimiento descrito con referencia a la Fig. 2, que se identifica en la Fig. 3 como etapa 72. Aunque no se ilustra en la Fig. 3, la etapa 72 comprende colocar una cadena concéntrica de pozos en un depósito de mineral subterráneo que tiene carnalita como el mineral deseado. Un fluido de inyección disuelve la carnalita, y se forma un fluido de producción que es relativamente cálido y rico en carnalita. El fluido de producción se produce en la etapa 72 y se pasa a través de la tubería interior de un intercambiador de calor de tubo en tubo en la etapa 72. El fluido de producción se enfría en el intercambiador de calor en la etapa 72 y en la etapa 72 se forma una suspensión que contiene cristales de carnalita. La suspensión se transporta a través de una tubería 74 a una planta 76 de separación, donde la suspensión alimenta a un separador 78 VariSieve, que separa los cristales sólidos de carnalita de la solución líquida de salmuera en la suspensión y aproximadamente de 90 a 95% de la solución de salmuera líquida, denominada salmuera empobrecida, se recircula a través de una tubería 80 al intercambiador de calor en la etapa 72, donde el calor se transfiere de la salmuera producida a la salmuera empobrecida para enfriar la salmuera producida y calentar la salmuera empobrecida. El fluido de inyección comprende esta salmuera empobrecida, calentada, que se usa para disolver más la carnalita y formar más fluido de producción en la etapa 72 en un circuito de recirculación.

Los cristales sólidos de carnalita, junto con la salmuera líquida que quedaba con los cristales sólidos, son transportados a través de una línea 82 a un tanque 84 de descomposición. Se añade agua dulce a través de un tubo 86 a los cristales de carnalita, haciendo que la carnalita se descomponga en cloruro potasio sólido, KCl, y salmuera de cloruro de magnesio líquido, $MgCl_2$. Una suspensión que contiene el cloruro de potasio sólido y el cloruro de magnesio líquido se transporta desde el tanque 84 de descomposición a través de una línea 88 a una centrífuga 90. La centrífuga 90 separa el cloruro de potasio sólido del cloruro de magnesio líquido. La salmuera líquida de cloruro de magnesio fluye a través de un tubo 92 hasta un estanque 94 de retención, que puede cubrir hasta cincuenta (50) acres. El producto 96 de cloruro de magnesio se recupera del estanque 94 de retención por medios convencionales. El cloruro de potasio sólido recuperado por la centrífuga 90 es transportado por una línea 98 y luego a través de una línea 98a a un secador 100 o a través de una línea 98b hasta un tanque 102 de almacenamiento húmedo, del cual puede cargarse un producto 104 de cloruro de potasio húmedo. El secador 100 elimina agua del cloruro de potasio húmedo, proporcionando cristales de KCl secos y sólidos que son transportados a través de una línea 106 a un tamiz 108. El tamiz 108 separa las partículas de cloruro de potasio en varios rangos de tamaño y los cristales separados de cloruro de potasio son transportados a través de una o más líneas 110 a las instalaciones 112 de almacenamiento en seco. El producto 114 de cloruro de potasio seco se carga en camiones y/o vagones de ferrocarril. En el caso de que los cristales producidos no sean lo suficientemente grandes como para ser comerciales, se puede añadir al proceso un espesante y/o un compactador.

Una porción de un intervalo de un tamaño específico de partículas de KCl es transportada a través de una línea 116 a la entrada de baja presión de la bomba de inyección de salmuera de retorno (no mostrada). La línea 116 puede comprender una cinta transportadora y una tolva para inyectar partículas de semilla del cloruro de potasio en la línea 80 a una velocidad controlada. Las partículas sólidas de cloruro de potasio transportadas desde el tamiz 108 a la línea 80 de salmuera empobrecida servirán como semillas en el lado de producción del intercambiador de calor en la etapa 72, como se discutió anteriormente con referencia a la Fig. 2. La salmuera de retorno empobrecida en la tubería 80 tendrá pequeñas partículas de cloruro de potasio que pasan a través del separador 78 VariSieve, por lo que la siembra adicional a través de la línea 116 es opcional, pero preferida. Si se utiliza la siembra a través de la línea 116, el tamaño de partícula preferido o la distribución de los tamaños de partícula y el número de partículas para una siembra óptima deben determinarse por experimentación. Se cree que cada vez menos cristales de siembra resultarán en la formación de cristales más grandes, a menos que se inyecten muy pocas semillas, y si se añaden muy pocas semillas, una gran porción del fluido de salmuera producida no será sembrada. El tamaño óptimo y la cantidad de semillas dependerán de los minerales involucrados y de las condiciones y diseño del intercambiador de calor. La precipitación de los minerales deseados también puede aumentarse inyectando una salmuera en el intercambiador de calor que contiene un mineral disuelto que desplazará el mineral deseado. Un ejemplo de esto sería la inyección de una salmuera saturada de $MgCl_2$ en una salmuera de KCl en el intercambiador de calor. Dependiendo de las condiciones, el diagrama de fases para esta mezcla indica que se puede precipitar preferentemente KCl. También, la Patente de Estados Unidos N° 4.283.372, concedida a Frint et al., describe un método para recuperar valor alcalino a partir de mineral que contiene bicarbonato de sodio utilizando un disolvente acuoso que contiene amoníaco.

Las Figs. 2 y 3 juntas proporcionan una descripción simplificada de un método para la minería por disolución de una fuente mineral in situ subterránea de acuerdo con la presente invención. Con la Fig. 2, se proporciona una descripción para producir salmuera que contiene un mineral deseado, enfriando la salmuera en un intercambiador de calor y haciendo que el mineral deseado se precipite, y transferir el calor de la salmuera producida a la salmuera empobrecida devuelta desde la planta de separación. La salmuera empobrecida se usa para transportar cristales de siembra desde la planta de separación al intercambiador de calor, donde el separador 68 de vórtice separa los cristales de siembra para inyección en la salmuera producida aguas arriba del intercambiador de calor. Con la Fig. 3, se proporciona una

descripción de una realización de una planta de separación, que describe la separación y recuperación del producto mineral deseado y de los cristales de siembra que se pueden usar para sembrar la salmuera producida. El sistema de intercambio térmico descrito para la presente invención también es útil en situaciones en las que es necesario o deseable disponer la corriente de salmuera diluida. En este caso, se introduce en el intercambiador de calor un fluido disolvente de minerales, que típicamente es agua dulce o salina, donde de otro modo se introduciría la corriente de salmuera diluida o empobrecida, que enfría la salmuera producida mientras se calienta el fluido de disolución mineral antes de inyectarse en el depósito de mineral.

Volviendo ahora al intercambiador 50 de calor en la Fig. 2, muchos tipos de intercambiadores de calor son aplicables a esta invención, siempre que los cristales precipitados no tapen el intercambiador de calor y se satisfagan otros requisitos, tales como el área de transferencia de calor. Sin embargo, el intercambiador de calor de tubo en tubería 50 en la Fig. 2 es particularmente adecuado para esta aplicación por las siguientes razones: es barato; puede ser construido y reparado en el campo; puede ser fácilmente forrado o recubierto para minimizar la salinización; puede alargarse fácilmente para reducir la caída de temperatura media a través de la pared del fluido caliente; y puede utilizarse como una parte significativa de la conexión fluida entre el pozo y la planta de separación. Una caída alta temperatura a través de la pared del intercambiador promueve la salinización. También se pueden usar intercambiadores de calor de carcasa y tubo, que se usan típicamente en plantas debido a su compacidad, pero no proporcionan las ventajas anteriores. También es posible instalar un intercambiador de calor de tubo en tubo en el propio pozo de producción, utilizando tubos más pequeños para inyectar semillas y otra salmuera si es necesario. Normalmente esto no sería la instalación preferida debido a la dificultad de servicio del intercambiador. Sin embargo, con una larga experiencia con un cuerpo de mineral dado, donde el servicio del intercambiador de superficie ha llegado a ser mínimo, el enfoque en el pozo podría ser preferible en el sentido de que haría uso del tubo concéntrico ya instalado para inyección y producción desde el pozo. La configuración concéntrica de la cadena de pozos ilustrada en la Fig. 2 extiende efectivamente el intercambiador de calor en el pozo hacia el área de superficie del intercambiador añadido, aunque no incluye la capacidad de sembrar ni inyectar una salmuera en el conducto 44 de producción próximo al depósito M mineral para promover la cristalización en la salmuera de producción al mismo tiempo en el conducto 44 de producción.

Puede ser necesario utilizar un intercambiador de calor auxiliar además del intercambiador 50 de calor en la Fig. 2, aunque tal intercambiador no se muestra en los dibujos. Muchos, si no la mayoría de los cuerpos de mineral, no tienen una elevación de temperatura suficientemente grande para producir suficiente precipitación en la superficie. En este caso, se puede utilizar un intercambiador de calor externo auxiliar. El intercambiador de calor auxiliar se puede instalar en la línea 52 de la Fig. 2 entre el intercambiador 50 de calor y la cabeza 46 del pozo de inyección para calentar el fluido de inyección. La fuente de calor para el intercambiador de calor auxiliar puede ser gas natural de bajo grado, calor de proceso tal como de una central eléctrica, calor solar, etc. Al menos parte del calor generado por el intercambiador de calor auxiliar sería recuperado por el intercambiador 50 de calor de la salmuera producida de la cavidad. Un fluido de inyección más caliente produciría una salmuera de producción que contiene una concentración más alta del mineral deseado debido a una temperatura más caliente en la salmuera producida. Si este enfoque es económico depende del coste de la fuente de energía auxiliar y del coste de métodos alternativos para recuperar el mineral deseado. Sin embargo, el uso de un intercambiador de calor auxiliar para calentar el fluido de inyección tiene ventajas sobre el uso de un tipo diferente de sistema de enfriamiento para enfriar la salmuera producida en el que prácticamente cualquier fuente de calor auxiliar puede ser usada en la sencillez del equipo (particularmente el intercambiador de calor de tubo en tubo), y en el hecho de que el calor natural en el depósito mineral se recupera y utiliza productivamente. Si la salmuera de inyección calentada es más caliente que el cuerpo de mineral, sería preferible utilizar conductos de inyección y producción que estén separados en lugar de una cadena de tubos concéntricos.

Resumiendo, la presente invención proporciona un sistema y un procedimiento para la minería por disolución en el que se utiliza un intercambiador de calor para enfriar la salmuera de producción que contiene un mineral disuelto procedente de un cuerpo mineral, de tal manera que el mineral precipita, mientras que la salmuera producida, se calienta y se devuelve a la cavidad para la disolución adicional de minerales. Preferiblemente, el intercambiador de calor es de diseño simple de tubo en tubo. Preferiblemente, el intercambiador de calor forma una parte de la conexión fluida entre el pozo y una planta de proceso de recuperación de minerales, lo que reduce los costes de tubería. Opcionalmente, se puede instalar un tipo de intercambiador de tubo en tubo en el propio pozo de producción en lugar de en la superficie (o además de un intercambiador de calor montado en la superficie), con un tubo unido al mismo para la inyección de semillas y otra de salmuera como se desee.

La salmuera calentada y reinyectada está preferiblemente en una relación de intercambio de calor con el tubo que lleva la salmuera producida en la cavidad del pozo, minimizando el enfriamiento de la salmuera producida y minimizando así la precipitación en el tubo de producción. Si se desea, se puede colocar un segundo intercambiador de calor entre el primer intercambiador de calor y el cabezal de pozo con el fin de calentar más la salmuera recién inyectada empobrecida más allá de la capacidad del primer intercambiador, donde el segundo intercambiador de calor utiliza una fuente de calor distinta a la que viene del pozo de producción. Si se desea, se puede aumentar el área del intercambiador de calor para reducir la temperatura media a través de la pared interna del tubo del intercambiador de calor, reduciendo así la diferencia de temperatura entre la pared y la salmuera producida y reduciendo así el potencial de salado en la pared del intercambiador de calor.

La presente invención proporciona preferiblemente semillas del mineral deseado seleccionado por tamaño y número que se inyectan en el lado de producción de salmuera del intercambiador de calor para formar núcleos para promover la precipitación del mineral, usándose la cantidad y distribución de tamaño de dicha inyección para determinar el tamaño de cristal mineral que emana del intercambiador y para minimizar el salado en la pared del intercambiador. En una realización, el lado de precipitación del intercambiador de calor está recubierto o revestido con una sustancia que minimiza la precipitación en la pared del intercambiador.

Esta invención mejora tanto el procedimiento de precipitación inducido por refrigeración como el procedimiento de evaporación. Con respecto a la primera, proporciona una inversión de capital inmensamente más simple y de menor coste y un coste operativo mucho menor en términos de energía utilizada. Aunque se pueden usar métodos de minería por disolución selectivos y no selectivos con esta invención, la extracción selectiva minimiza la cantidad de agua utilizada, principalmente el agua de reposición y el agua para la descomposición de un mineral como la carnalita, y casi no quedan residuos en la superficie. Esto contrasta con la mayoría de los proyectos de minería de soluciones. El presente método puede usar agua dulce o agua salina. Una mina que utiliza este proceso puede ser una de las minas más limpias que existan. Con la extracción no selectiva, se puede utilizar agua salina, y se prefiere la eliminación de salmuera subterránea. Dependiendo del mineral que se esté extrayendo, no hay necesidad de separación ya que no se precipita ninguna sal. En comparación con un proceso de evaporación, las ventajas incluyen lo anterior, pero son aún mayores. No se pierde agua en la evaporación, que es costosa y es una carga ambiental, a menudo no se necesita separación de minerales en la superficie, y no se deja ninguna cola de mina para crear un problema ambiental.

Al comparar la presente invención con un procedimiento típico de la técnica anterior para la minería por disolución de potasa, descrito en la Patente de Estados Unidos N° 3.918.916, expedida a Garrett, la presente invención es mucho más simple, mucho menos costosa de construir, operar y mantener y más fiable. Se cree que la patente '916 describe un procedimiento para la minería por disolución de cloruro de potasio que comprende las etapas de:

(a) minería de un depósito de potasa inyectando un fluido de disolución en el depósito de potasa, disolviendo potasa con el fluido de disolución y produciendo una salmuera rica en cloruro de potasio relativamente caliente, denominada salmuera producida;

(b) transportar la salmuera producida a una estación de cristalización de intercambio de calor de primera etapa que comprende intercambiadores de calor de carcasa y tubo, por lo que la temperatura de la salmuera producida se baja para formar una suspensión que contiene cristales de cloruro de potasio denominados lechada de primera etapa;

(c) transportar la suspensión de la primera etapa a un enfriador de la segunda etapa que comprende un enfriador atmosférico en el que la temperatura de la suspensión de la primera etapa se reduce adicionalmente mediante intercambio de calor utilizando aire frío del ambiente formando así cristales adicionales de cloruro de potasio en una suspensión denominada suspensión de segunda etapa;

(d) transportar la suspensión de la segunda etapa a una estación de cristalización de la tercera etapa que comprende enfriamiento refrigerante para reducir la temperatura de la suspensión de la segunda etapa formando de este modo cristales adicionales de cloruro de potasio en una suspensión denominada suspensión de tercera etapa;

(e) recuperar cristales de cloruro de potasio y una salmuera empobrecida relativamente fría de la suspensión de la tercera etapa usando equipo de separación física;

(f) recircular la salmuera empobrecida relativamente fría a la estación de cristalización de intercambio de calor de la primera etapa en la que una transferencia de calor enfría la salmuera producida y calienta la salmuera empobrecida relativamente fría formando así una salmuera empobrecida calentada; y

(g) usar la salmuera empobrecida calentada en el fluido de disolución.

En la patente '916, la estación de cristalización de intercambio de calor de primera etapa preferiblemente incluye inicialmente el paso de la salmuera producida a través de un cristizador de tipo de crecimiento en vacío de múltiples etapas. La presente invención es una mejora con respecto al método de la técnica anterior descrito en la patente '916 en que el segundo enfriador de etapa y la estación final de cristalización se eliminan con la presente invención. El enfriador atmosférico de la segunda etapa en la patente '916 es esencialmente una torre de enfriamiento en la cual la salmuera fluye hacia abajo sobre un conjunto de deflectores mientras un ventilador aspira el aire hacia arriba a través de los deflectores para enfriar la salmuera mediante intercambio de calor sensible y evaporando agua de la salmuera. El calor en la salmuera producida se pierde en la atmósfera y la torre de enfriamiento es relativamente costosa de construir y mantener en comparación con el intercambiador de calor de la presente invención. En segundo lugar, el intercambiador de calor en la presente invención aprovecha al máximo el calor en el depósito de mineral puesto que el calor en la salmuera producida se recupera casi completamente en el intercambiador de calor de la presente invención. Aunque la estación de cristalización de intercambio de calor de primera etapa que comprende intercambiadores de calor de carcasa y tubo descritos en la patente '916 intercambia calor entre la salmuera producida y la salmuera de retorno empobrecida, la recuperación del calor en la salmuera producida es bastante limitada, necesitan tener el enfriador atmosférico de segunda etapa incluso en climas fríos y, además, el enfriamiento refrigerativo de tercera etapa en climas

que no son fríos. El intercambiador de calor de la presente invención está adaptado para aprovechar la transferencia de calor desde la salmuera producida al entorno ambiente y para tener suficiente área de transferencia de calor entre la salmuera producida y la salmuera de retorno empobrecida para enfriar suficientemente la salmuera producida de manera que se recupera sustancialmente una mayor cantidad de cristales de cloruro de potasio que la que se podría recuperar usando la estación de cristalización de intercambio de calor de primera etapa sola sin el enfriador atmosférico (evaporador) de segunda etapa y sin el enfriador refrigerativo de tercera etapa

El intercambiador de calor en el procedimiento de la presente invención reduce gradualmente la temperatura de la salmuera producida hasta un punto en el que una cantidad esperada u óptima del mineral producido se cristaliza en una sola etapa y con una sola y sencilla pieza de equipo que es el intercambiador de calor. Aunque la patente '916 describe una pluralidad de intercambiadores de calor de carcasa y tubo en los que se transfiere cierta cantidad limitada de calor de la salmuera producida a la salmuera de retorno empobrecida, la patente '916 no contempla reducir suficientemente la temperatura de la salmuera producida a cristalizar adecuadamente el mineral deseado usando solamente la salmuera empobrecida, la salmuera de retorno y las condiciones ambientales para efectuar el enfriamiento requerido de la salmuera producida. En cambio, la patente '916 contemplaba el enfriamiento por evaporación de segunda etapa y el enfriamiento refrigerante de tercera etapa. La presente invención contempla en particular un intercambiador de calor de tubo en tubo que debería estar diseñado para reducir la temperatura de una salmuera producida, una cantidad comparable a la reducción que se conseguiría mediante los intercambiadores de calor, los enfriadores evaporativos y los enfriadores refrigerativos descritos en la " 916.

Por lo tanto, con respecto a la patente '916, la presente invención proporciona mejoras que comprenden: (i) eliminar el refrigerador de segunda etapa y la estación final de cristalización; (ii) usar un intercambiador de calor de tubo en tubo en lugar de la estación de cristalización de intercambio de calor de primera etapa que comprende intercambiadores de calor de carcasa y tubo para intercambiar calor entre la salmuera producida y la salmuera empobrecida relativamente fría, el intercambiador está adaptado para aprovechar la transferencia de calor desde la salmuera producida al medio ambiente y tener suficiente área de transferencia de calor entre la salmuera producida y la salmuera empobrecida para enfriar suficientemente la salmuera producida de manera que se recupera una cantidad sustancialmente mayor de cristales de cloruro de potasio que se pueden recuperar usando la estación de cristalización de intercambio de calor de primera etapa sola sin el enfriador evaporativo de segunda etapa y sin la estación de cristalización de tercera etapa que usa enfriamiento refrigerante. La reducción de la temperatura de la salmuera de producción concentrada entre el conducto de producción y la planta de separación se logra sin utilizar refrigeración por evaporación significativa y sin usar refrigeración significativa. La reducción de la temperatura de la salmuera de producción concentrada entre el conducto de producción y la planta de separación se logra esencialmente transfiriendo energía térmica de la salmuera de producción concentrada a la corriente de salmuera diluida en uno o más intercambiadores de calor y mediante una transferencia de energía térmica de la salmuera de producción concentrada en el medio ambiente a través de la tubería. Dicho de otro modo, se intercambia calor entre la salmuera de producción concentrada y la salmuera empobrecida en el intercambiador de calor para enfriar la salmuera de producción y para calentar la salmuera empobrecida, donde la energía térmica perdida a medida que la salmuera de producción se enfría se gana calor que calienta la salmuera diluida y por una transferencia de energía térmica al medio ambiente a través del sistema de tuberías y a través del equipo de separación líquido-sólido utilizado para recuperar los cristales sólidos del mineral deseado.

Aunque el procedimiento de minería por disolución descrito en la patente '916 requiere una energía hecha por el hombre en forma de electricidad para hacer funcionar un ventilador en el enfriador evaporativo y en el sistema de refrigeración refrigerante, el sistema de intercambio de calor de la presente invención, que se usa para enfriar la salmuera producida, no emplea ninguna fuente de energía artificial significativa para enfriar la salmuera producida. El sistema de intercambio de calor de la presente invención sirve, por tanto, como un único cristizador en comparación con el procedimiento de minería por disolución descrito en la patente '916, que requiere una primera etapa que comprende intercambiadores de calor de carcasa y tubo, un sistema de refrigeración evaporativo de segunda etapa que utiliza algo como una torre de refrigeración y un sistema de refrigeración como una tercera etapa, si es necesario dependiendo de las condiciones de temperatura ambiente. En cierta medida, la presente invención utiliza el medio ambiente como un disipador de calor (a través de la pérdida convectiva natural de energía térmica) para enfriar la salmuera producida, pero la mayor parte de la energía térmica perdida de la salmuera producida (a medida que se enfría para precipitar el mineral deseado) se recupera en la salmuera empobrecida y se devuelve al depósito de mineral (se pierde energía térmica mínima del depósito de mineral). Si las pérdidas de energía térmica en el medio ambiente son demasiado grandes, debe añadirse calor auxiliar a la salmuera empobrecida antes de ser inyectada en el depósito de mineral. Además, el intercambiador, las tuberías de superficie y el equipo de proceso pueden aislarse para minimizar estas pérdidas.

La presente invención contempla además una larga distancia entre la cabeza del pozo y la planta de separación, que en la técnica anterior habría sido instalada una tubería para transportar la salmuera producida y/o suspensión a la planta de separación, lo que probablemente incluiría también equipo tal como el descrito en la patente '916 para enfriar la salmuera producida. En la presente invención, se instala un segundo tubo en una configuración concéntrica alrededor del tubo utilizado para transportar la salmuera producida a la planta de separación, que a continuación proporciona el intercambiador de calor de tubo en tubo de la presente invención. De este modo, esencialmente, todo el coste de capital y coste de mantenimiento de los intercambiadores de calor de carcasa y tubo, los enfriadores evaporativos y los enfriadores refrigerativos de la patente '916 se reducen al coste de instalar el segundo tubo alrededor del primer tubo para formar el tubo en la tubería de la presente invención. El coste de capital y el coste de mantenimiento del

intercambiador de calor de tubo en tubo de la presente invención es mínimo comparado con los intercambiadores de calor de carcasa y tubo, los enfriadores evaporativos y los enfriadores refrigerativos descritos en la patente '916. La fiabilidad y facilidad de mantenimiento de un intercambiador de calor de tubo en tubo de la presente invención es una ventaja y beneficio adicionales. Las paredes internas del tubo que lleva la salmuera producida a través del intercambiador de calor de la presente invención pueden ser fácilmente recubiertas o revestidas para inhibir la formación de sales en las paredes internas del tubo y la diferencia mínima de temperatura entre la salmuera producida en un lado del intercambiador de calor y la salmuera empobrecida en el otro lado reducen adicionalmente la tendencia a la acumulación de sal en las paredes internas del conducto de producción en el intercambiador de calor de la presente invención. Como se ha descrito anteriormente, la presente invención ofrece una serie de beneficios y ventajas en comparación con los sistemas de la técnica anterior tipificados por la patente '916.

Al considerar el balance energético global, se produce una pérdida de energía térmica en el ambiente durante el procesamiento en el equipo de extracción de minerales en la planta de separación. Por consiguiente, la salmuera empobrecida transportada al intercambiador de calor se encuentra a temperatura cercana al ambiente, lo que proporciona enfriamiento para la salmuera producida en el intercambiador de calor. Sin embargo, dado que el intercambiador de calor está diseñado para proporcionar esencialmente todo el enfriamiento para la salmuera producida con excepción de las pérdidas al medio ambiente, la temperatura de la salmuera producida cuando sale del intercambiador de calor también está a casi temperatura ambiente, temperatura que la salmuera empobrecida. La diferencia de temperatura entre la salmuera producida en su extremo de salida del intercambiador de calor y la salmuera empobrecida en su extremo de entrada del intercambiador de calor es mínima, lo que ayuda a minimizar el salado en la pared interior del intercambiador de calor en el lado de salmuera de producción donde ocurre la precipitación del mineral. Los factores que se deben considerar en el balance energético global incluyen la energía térmica que la salmuera producida tendrá al salir del depósito de mineral, ya que la fuente de energía térmica es la temperatura elevada del depósito de mineral en comparación con la temperatura ambiente superficial, pérdidas de producción principalmente en el fluido de inyección de salmuera empobrecida en una disposición de tubos concéntricos como se describe con referencia a la Fig. 2, pero también a la tierra circundante desde el fluido de inyección y desde la salmuera producida, las pérdidas a la temperatura ambiente desde la cabeza del pozo y de la tubería entre la cabeza del pozo y el intercambiador de calor, la transferencia de calor de la salmuera producida a la salmuera empobrecida en uno o más intercambiadores de calor, la pérdida de calor en el medio ambiente desde la tubería u otro conducto usado para el transporte entre el intercambiador de calor y la planta de separación, pérdida de calor en el medio ambiente en la planta de separación, ganancia de calor del bombeo en la salida de salmuera al intercambiador de calor, la ganancia de calor radiante del sol que brilla sobre el equipo expuesto y la tubería, la pérdida de calor en el medio ambiente en el circuito de siembra tal como del separador de vórtice y la ganancia de calor en la salmuera empobrecida si un calentador auxiliar se utiliza para calentarla antes de la inyección en el depósito. La transferencia de calor en el medio ambiente depende de la temperatura ambiente, que es generalmente variable. Un intercambiador de calor de tubo en tubo se puede enterrar bajo tierra a la superficie de la tierra, lo que proporcionaría una temperatura ambiente razonablemente constante y eliminaría algo de la variabilidad en la temperatura de salida de la salmuera producida del intercambiador de calor. Todavía estarán sujetos a variabilidad debido a que el equipo de separación estaría situado presumiblemente en un medio al aire libre. Como se puede ver, una serie de factores deben ser considerados en el diseño de uno o más intercambiadores de calor.

El intercambiador de calor preferido de la presente invención se concibe como un único intercambiador de calor de tubo en tubo que tiene una longitud muy larga, posiblemente de aproximadamente 1600 metros (1 milla) de longitud. Este tipo de intercambiador se puede construir en el sitio donde se encuentra la mina. Una sola planta de separación puede acomodar un número de pozos de producción y la salmuera producida de cada pozo de producción puede ser transportada desde su pozo a la planta de separación a través de un intercambiador de calor de tubo en tubo. Sin embargo, en algunas aplicaciones, puede ser preferible construir intercambiadores de calor en una fábrica o simplemente comprar intercambiadores de calor disponibles en el mercado que un fabricante de intercambiadores de calor ha hecho para uso general. Pueden utilizarse diferentes tipos de intercambiadores de calor y se puede utilizar más de un intercambiador de calor en una combinación paralela o en serie o en una mezcla de paralelo y serie. Por ejemplo, puede disponerse de un intercambiador de calor de longitud estándar, de tubo en tubo, fuera de la carcasa, y se pueden montar múltiples unidades en serie para transportar el fluido de producción a la planta de separación mientras se intercambia calor con la salmuera empobrecida. La selección y el diseño del intercambiador de calor deben basarse en factores como coste de capital, coste de operación, mantenimiento -particularmente con respecto al sellado y corrosión de la sal, y facilidad de instalación y operación-. El intercambiador de calor debe estar diseñado para proporcionar esencialmente toda la reducción de temperatura de la salmuera producida requerida para lograr una producción deseada del mineral deseado, teniendo en cuenta la pérdida neta de energía térmica al medio ambiente.

Ejemplo: Minería por disolución de un mineral de silvita.

Como ejemplo ilustrativo e hipotético, una capa de evaporita constituida de halita (NaCl) y silvita (KCl) tiene una temperatura de 65,5°C (150°F) tal como se obtiene a partir de un seguimiento de la temperatura en una perforación. La capa es 50% de silvita y 50% de halita, lo que permite la lixiviación selectiva de la capa. En la lixiviación selectiva sólo se disuelve la silvita más soluble y la halita permanece en su lugar. La minería se inicia realizando un corte en la parte inferior de la capa. Esto se hace mediante la instalación de un fluido inmiscible como el petróleo a pocos metros (pies) por encima de la parte inferior de la capa de destino. La minería de la solución entonces ocurre debajo del relleno,

minando en una dirección radial lejos del pozo. Esto produce un disco circular de aproximadamente 0,61 metros (2 pies) de alto con un diámetro de unos 61 metros (200 pies). Una vez completado el rebaje, después de aproximadamente 100 días, se retira el relleno que evita que el recorte de la lixiviación se retire y se inicie la lixiviación de la producción por lixiviación hacia arriba. La tasa de flujo de la salmuera de inyección se ajusta de modo que la salmuera producida esté ligeramente subsaturada en la cavidad. Llega a un intercambiador de calor tubo a tubo aproximadamente a 62,8° C (145° F) y completamente saturada con aproximadamente 16% de KCl, basado en un diagrama de fases de KCl-NaCl-H₂O disponible en la literatura. Pasando a través del intercambiador de calor, que puede ser de aproximadamente 1524 metros (5000 pies) de largo, o tan largo como sea necesario, la salmuera producida cae casi a una temperatura ambiente local de aproximadamente 15,6° C (60° F), momento en el cual la concentración de KCl ha descendido hasta aproximadamente 10%, una caída de aproximadamente 6% en peso, que forma una suspensión de cristales de KCl en la salmuera producida. La suspensión fluye a una planta de proceso o separación, donde cristales de KCl sólidos por encima de un cierto tamaño se separan y procesan como se describe en conexión con la Fig. 3. Con los sólidos así retirados, se retorna una salmuera ahora empobrecida a través de una tubería separada al intercambiador de calor usando bombas de alta presión, donde se calienta con salmuera de producción caliente y se inyecta de nuevo en la cavidad para continuar el procedimiento. La salmuera empobrecida recuperada en la planta de separación todavía está saturada en KCl, pero la salmuera está a la temperatura ambiente más baja, por lo que menos KCl es soluble en la salmuera a la temperatura más baja. Debido a que el KCl se precipitó en el intercambiador de calor, donde no hay halita disponible, la salmuera ya no está saturada en halita, y puede considerarse una salmuera diluida en este sentido. La lixiviación continúa en la cavidad hasta que alcanza la parte superior de la capa de mineral y se debe perforar otro pozo, suponiendo que sólo hay una capa en el pozo. Este ejemplo se refiere a la minería por disolución de silvita, en oposición a carnalita, y el tanque de descomposición usado en el procedimiento de minería por disolución para carnalita descrito con referencia a la Fig. 3 no es necesario para la minería de silvita. Las dimensiones exactas del intercambiador de calor, la longitud y el diámetro y su área de transferencia de calor deben determinarse mediante análisis numérico utilizando las condiciones específicas de un proyecto minero. En este ejemplo, el alto contenido de KCl en el mineral permite la lixiviación selectiva. Sin embargo, también se puede usar la lixiviación no selectiva con la presente invención. Si el cuerpo de mineral es por ejemplo KCl al 25%, la lixiviación selectiva probablemente no tendría éxito. En este caso, se puede inyectar agua dulce o salina en el intercambiador de calor, donde antes del retorno se inyectó salmuera empobrecida. El agua dulce o salina se calienta en el intercambiador de calor por la salmuera producida antes de su inyección en la mina y la temperatura más alta del fluido de disolución aumenta la velocidad de disolución y posiblemente la cantidad de KCl transportada en la salmuera producida, dependiendo de si el equilibrio se alcanza con la temperatura del cuerpo del mineral. Cuando la salmuera producida resultante pasa a través del tubo central del intercambiador de calor, el KCl se precipita como antes y se separa en la planta. En este punto, sin embargo, la salmuera ahora diluida se desecha, típicamente en un pozo de disposición, pero alguna parte también podría venderse para usos diferentes. Esta salmuera se reemplaza por agua dulce o salina como se discutió anteriormente. Una vez más, dado que el agua de retorno está demasiado diluida para mantener las semillas, se requiere un método de inyección de semilla por separado. Esto podría ser un tanque de semillas como se ha discutido anteriormente o una pequeña tubería de semillas separada.

Habiendo descrito la invención anterior, serán evidentes para los expertos en la técnica diversas modificaciones de las técnicas, procedimientos, materiales y equipo.

40

REIVINDICACIONES

1. Un procedimiento para minería por disolución, que comprende las etapas de:
- 5 proporcionar un conducto (42a) de inyección en un depósito (M) de mineral que tiene un mineral deseado, en el que el conducto (42a) de inyección está adaptado para transportar un fluido de inyección en el depósito (M) de mineral para disolver el mineral y formar una salmuera de producción concentrada;
- proporcionar un conducto (44) de producción al depósito de mineral adaptado para transportar la salmuera de producción concentrada a la superficie de la tierra;
- inyectar el fluido de inyección en el conducto (42a) de inyección;
- 10 transportar la salmuera de producción concentrada a través de un cristalizador a una planta (58) de separación, en donde la cristalización en el cristalizador se efectúa enfriando la salmuera de producción concentrada, donde el cristalizador consiste esencialmente en un sistema (50) de intercambio de calor;
- extraer el mineral de la salmuera de producción concentrada formando de este modo una corriente de salmuera diluida y una corriente de mineral;
- 15 transportar la corriente de salmuera diluida a través del sistema (50) de intercambio de calor al conducto (42a) de inyección, donde el fluido de inyección contiene la corriente de salmuera diluida;
- en el que el enfriamiento de la salmuera de producción concentrada se consigue con la corriente de salmuera diluida en el sistema (50) de intercambio de calor;
- y en el que el sistema (50) de intercambio de calor proporciona esencialmente todo el enfriamiento para la salmuera producida, con excepción de las pérdidas al medio ambiente.
- 20 2. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que el sistema (50) de intercambio de calor consiste esencialmente en uno o más intercambiadores de calor de tubo en tubo para intercambiar calor entre la salmuera de producción concentrada y la corriente de salmuera diluida,
- opcionalmente en el que el uno o más intercambiadores de calor de tubo en tubo también sirven como un medio primario para transportar la salmuera de producción concentrada a la planta (58) de separación y para transportar la corriente de salmuera diluida al conducto (42a) de inyección.
- 25 3. El procedimiento de acuerdo con la reivindicación 1 o 2, en el que el sistema (50) de intercambio de calor comprende:
- un tubo (50c) interior que tiene un primer extremo abierto y un segundo extremo abierto opuesto y una longitud entre el primer y segundo extremos abiertos; y
 - un tubo (50f) exterior que rodea el tubo (50c) interior esencialmente en la longitud del tubo (50c) interior,
 - 30 - en el que el tubo (50c) interior tiene una superficie exterior y el tubo (50f) exterior tiene una superficie interior,
 - en el que se define un espacio (50a) anular entre la superficie interior del tubo (50f) exterior y la superficie exterior del tubo (50c) interior,
 - en el que el tubo (50f) exterior está sellado con el tubo (50c) interior próximo al primer extremo abierto del tubo (50c) interior y próximo al segundo extremo abierto del tubo (50c) interior, encerrando así el espacio (50a) anular,
 - 35 - en el que el tubo (50f) exterior tiene un primer orificio próximo al primer extremo abierto del tubo (50c) interior,
 - en el que el tubo (50f) exterior tiene un segundo orificio próximo al segundo extremo abierto del tubo (50c) interior, en el que el tubo (50c) interior tiene una superficie de pared interior que define un recorrido del flujo de fluido interno entre el primer extremo abierto y el segundo extremo abierto del tubo (50c) interior,
 - 40 - en el que se proporciona una trayectoria anular del flujo del fluido desde el primer orificio del tubo (50f) exterior a través del espacio (50a) anular hasta el segundo orificio del tubo (50f) exterior, en el que cada primer extremo abierto del tubo (50c) interior y el primer orificio del tubo (50f) exterior está en comunicación fluida con el depósito de mineral (M); y
 - en el que cada uno del segundo extremo abierto del tubo (50c) interior y el segundo orificio del tubo (50f) exterior está en comunicación fluida con la planta (58) de separación;

- opcionalmente en el que al menos una superficie del tubo (50c) interior o exterior (50f) está recubierta o revestida con una sustancia para minimizar la precipitación del mineral sobre la superficie recubierta o revestida;
- preferiblemente en el que el primer extremo abierto del tubo (50c) interior está cerca del pozo y el segundo extremo abierto del tubo (50c) interior está cerca de la planta (58) de separación de manera que la longitud del tubo (50c) interior es aproximadamente igual a la distancia entre el pozo y la planta (58) de separación.
- 5 4. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 3, que comprende además inocular la salmuera de producción concentrada para promover la cristalización del mineral, opcionalmente en el que la corriente mineral proporciona una fuente para las semillas utilizadas para inocular.
5. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 4, que comprende además:
- 10 pasar al menos una porción de la corriente de salmuera diluida a través de un separador (68) de vórtice;
- recuperar una corriente de partículas minerales; y
- inocular la salmuera de producción concentrada con la corriente de partículas minerales para promover la cristalización del mineral.
- 15 6. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 5, en el que la planta (58) de separación incluye un separador, preferiblemente en el que el separador es un separador (78) VariSieve que forma la corriente de salmuera diluida y la corriente mineral.
7. El procedimiento de la reivindicación 1, en el que la planta de separación incluye un separador >VariSieve y en el que el separador VariSieve forma la corriente de salmuera diluida y la corriente mineral, que comprende además:
- tamizar y dimensionar partículas minerales para obtener partículas minerales de un tamaño esperado;
- 20 seleccionar un número esperado de partículas del tamaño esperado para obtener partículas minerales de semillas;
- inyectar las partículas minerales de semillas en la corriente de salmuera diluida;
- pasar al menos una parte de la corriente de salmuera diluida a través de un separador (68) de vórtice;
- recuperar al menos una porción de las partículas de semillas minerales para proporcionar una corriente de alimentación de semillas; y
- 25 inocular la salmuera de producción concentrada en la corriente de alimentación de semillas para promover la cristalización del mineral.
8. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 7, en el que el sistema (50) de intercambio de calor consiste esencialmente en un intercambiador de calor de tubo en tubo para intercambiar calor entre la salmuera de producción concentrada y la corriente de salmuera diluida, en el que el intercambiador de calor de tubo en tubo incluye un primer tubo (50c) para transportar la salmuera de producción concentrada, y en el que el primer tubo (50c) está recubierto o revestido con una sustancia adaptada para minimizar la precipitación del mineral sobre la pared del primer tubo.
- 30 9. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 8, en el que la etapa de enfriar la salmuera de producción concentrada con la corriente de salmuera diluida en el sistema (50) de intercambiador de calor se produce por debajo de la superficie de la tierra.
- 35 10. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 9, que comprende además calentar la corriente de salmuera diluida con una fuente de calor auxiliar.
11. El procedimiento de una cualquiera de las reivindicaciones 1 a 10, en el que el sistema (50) de intercambio de calor no emplea ninguna fuente de energía artificial significativa para enfriar la salmuera producida.
- 40 12. Un sistema (10) adaptado para la extracción de un mineral de una fuente subterránea del mineral (D), que consiste esencialmente en:
- una tubería (12) de inyección que se extiende desde la superficie de la tierra hasta la fuente subterránea del mineral;
- una tubería (14) de producción que se extiende desde la superficie de la tierra hasta la fuente subterránea del mineral (D), estando adaptada la tubería (14) de producción para transportar una salmuera de producción concentrada relativamente caliente que contiene el mineral desde la fuente subterránea hasta el superficie de la tierra;
- 45

- opcionalmente en el que la tubería (12) de inyección y la tubería (14) de producción están dispuestas concéntricamente una dentro de la otra;
- un intercambiador (18) de calor adaptado para enfriar la salmuera producida y precipitar cristales del mineral formando así una suspensión;
- 5 un equipo (58) para separar y recuperar los cristales del mineral de la suspensión, por lo que una salmuera diluida líquida enfriada permanece después de que los cristales del mineral se retiran de la suspensión; y
- una tubería (16) y una bomba para transportar la salmuera diluida hacia y a través del intercambiador (18) de calor y hacia y dentro de la tubería (12) de inyección, en el que el enfriamiento de la salmuera de producción concentrada se consigue con la corriente de salmuera diluida en el intercambiador (18) de calor; y
- 10 un conducto (22, 24) requerido para la comunicación fluida entre la tubería (14) de producción, el intercambiador (18) de calor y el equipo (58) para separar los cristales del mineral;
- en el que el sistema (18) de intercambio de calor proporciona esencialmente todo el enfriamiento para la salmuera producida, con excepción de las pérdidas en el medio ambiente; opcionalmente, en el que el equipo para obtener el mineral de la salmuera de producción concentrada incluye un separador, preferiblemente un separador (78) VariSieve.
- 15 13. El sistema de la reivindicación 12, en el que el intercambiador (18) de calor consiste esencialmente en un intercambiador de calor de tubo en tubo; preferiblemente en el que el intercambiador de calor de tubo en tubo proporciona una parte significativa de la tubería requerida entre la tubería (14) de producción y el equipo (58) para separar y recuperar los cristales del mineral.
- 20 14. Un método para preparar un sitio para la minería por disolución de una fuente subterránea de mineral, que comprende las etapas de:
- instalar tubería (12) de inyección y tubería (14) de producción que se extienden entre la superficie de la tierra y la fuente subterránea;
- instalar equipos (58) adaptados para obtener el mineral a partir de una salmuera de producción;
- 25 instalar un intercambiador (18) de calor entre la tubería (14) de producción y el equipo (58) adaptado para obtener el mineral; e
- instalar una tubería (22, 24) y una bomba adaptada para hacer circular el fluido desde la tubería de producción a través del intercambiador (18) de calor a través del equipo (58) adaptado para obtener el mineral y hacia debajo de la tubería (12) de inyección
- 30 en el que el intercambiador (18) de calor está adaptado para intercambiar calor entre el fluido de la tubería (14) de producción y el fluido del equipo (58) adaptado para obtener el mineral, y
- en el que el sistema (18) de intercambio de calor proporciona esencialmente todo el enfriamiento para la salmuera producida, con excepción de las pérdidas al medio ambiente.
- 35 15. Un proceso para extraer un mineral de un sitio que tiene una fuente (M) de mineral subterránea, siendo adaptado el sitio con un conducto (42a) de inyección a la fuente (M) de mineral para transportar un fluido de inyección a la fuente (M) de mineral para disolver el mineral y formar una salmuera de producción concentrada, estando el sitio adaptado además con un conducto (44) de producción a la fuente (M) de mineral para transportar la salmuera de producción concentrada a la superficie de la tierra, comprendiendo el procedimiento las etapas de:
- inyectar el fluido de inyección en el conducto (42a) de inyección;
- proporcionar un intercambiador (50) de calor;
- 40 transportar la salmuera de producción concentrada a un equipo de extracción de minerales a través del intercambiador (50) de calor;
- extraer el mineral de la salmuera de producción concentrada formando de este modo una corriente de salmuera diluida y una corriente de mineral;
- desechar la corriente de salmuera diluida;
- 45 introducir un fluido para disolución de mineral en el intercambiador (50) de calor;

5 intercambiar calor entre la salmuera de producción concentrada y el fluido de disolución de mineral en el intercambiador (50) de calor, en el que el líquido de disolución de mineral enfría la salmuera de producción concentrada formando así partículas minerales cristalizadas en la salmuera de producción concentrada, en donde el fluido para disolución de mineral es calentado por la salmuera de producción concentrada, y en el que el fluido de inyección comprende el fluido para disolución de mineral después de que se calienta en el intercambiador (50) de calor;

en el que el intercambiador (50) de calor proporciona esencialmente todo el enfriamiento para la salmuera de producción, con excepción de las pérdidas al medio ambiente.

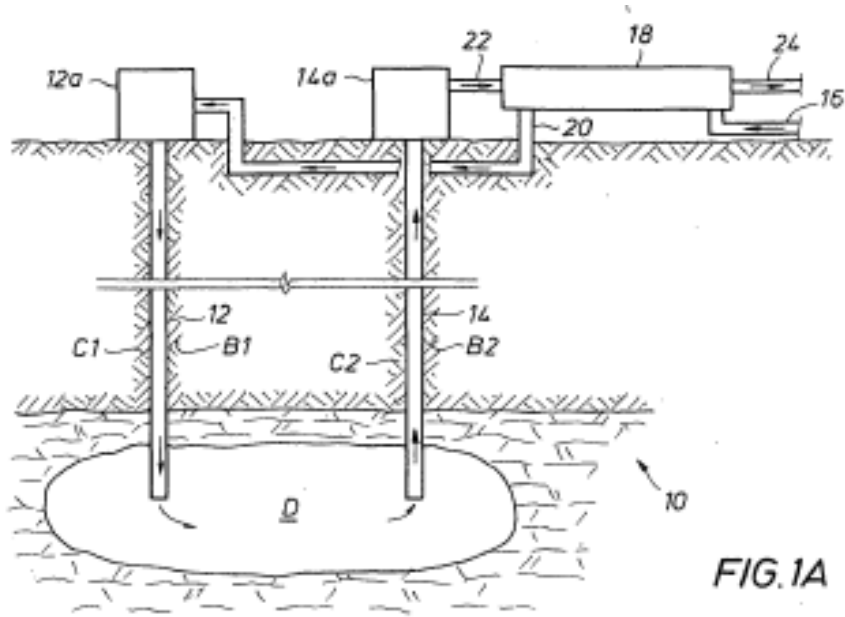


FIG. 1A

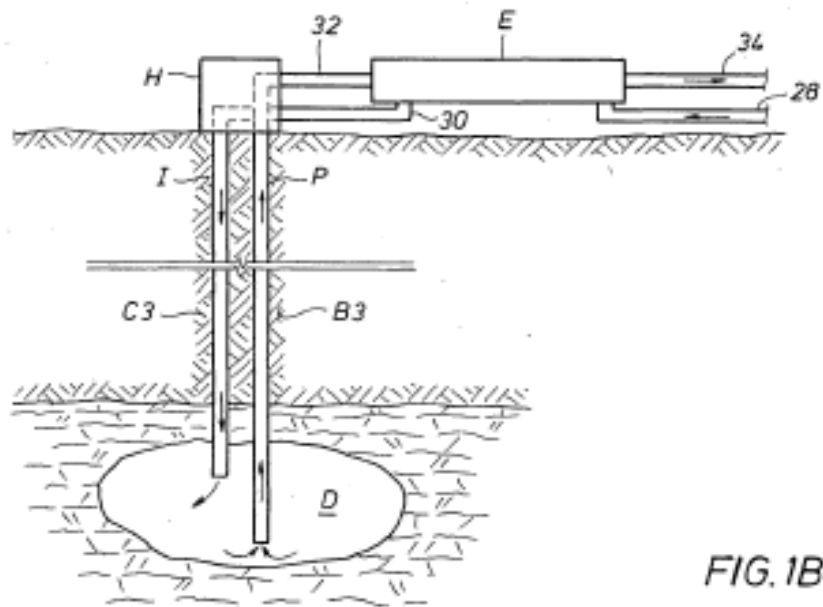


FIG. 1B

